

北欧の森林限界地域における景観動態の  
自然地理学的研究

—ノルウェー北部フィンマルク地方の  
オウシュウアカマツ林の更新状況—

梅 本 亨

# Geographical study of the landscape dynamics around the arctic forest limit in Fennoscandia:

## A field assessment of the regeneration of Scots pine (*Pinus sylvestris*) in Finnmark, northern Norway

UMEMOTO Tohru

There are some outstanding boundaries of natural terrestrial landscapes. One of them is the forest limit that delineates the upper or northern margin of forests. Forest limits represent the physical environmental deficiency of physiological demand of trees. This means that the position of forest limits can be an indicator of local climates. Geographers and botanists describe two kinds of forest limits. One is the upper forest limit dividing the alpine and subalpine biomes on the mountain slopes. The other is the arctic forest limit dividing arctic and subarctic biomes in the polar lowlands of the northern hemisphere. In the northernmost part of Fennoscandia, we can observe both of them within short distances. A tree is defined as a standing single stem woody plant more than 3m tall and a forest is defined as an area covered with trees having their interval distances within 30m. The tree species making forest limits in this region are mountain birch (*Betula pubescens* ssp. *czerepanovii*) and Scots pine (*Pinus sylvestris*). Upper forest limits move upward during warmer periods in the timescale of  $10^1$  to  $10^2$  years. In colder periods of the same timescale, forest limits do not move downward easily but trees stay there until getting old to die. The recent climatic change in Fennoscandia is characterized by three stages: 1) a warming from the end of the Little Ice Age to 1940s, 2) a slight cooling from 1950s to 1980s, and 3) a slight warming from 1990s to today. The purpose of this study is to find a change of the stand structure corresponding to the recent local climatic change along upper and arctic forest limits by means of field assessments.

A field survey was operated in Finnmark, northern Norway during July 2007. Firstly, 26 sites of forest limits were selected by close reading of 1:50000 scale topographical maps published by the Norwegian mapping authority (Statens kartverk). These maps do not provide any information about the species of trees making forest limits. Then all sites were checked by brief field observations in order to know what tree species exists and availability for field measurement activity. Finally, 5 sites of forest limits and 1 site of coastal pine woodland for comparison were selected. We mapped trees and landforms by using a simple mechanical

transit (Ushikata Tracom LS-25) and an ultrasonic distance-measuring device (Haglöf VERTEX III) attached to a tripod. This paper reports the coastal site of Scots pine woodland which may represents the landscape change of the marginal forest induced by the temperature change. The site is situated in the southern end of Porsanger fjord (Porsangen) near the town of Lakselv. We set a 60 x 60m quadrat and mapped all tree species more than 1m tall, and in the other 20 x 60m quadrat set as a part of it, mapped the tree species more than 10cm tall. The result shows an interesting tree size distribution that the trees with the height of 50 to 100cm are almost lacking. This may be caused by a thermal control of regeneration during the cooling stage between 1950s and 1980s.

《特別研究》

# 北欧の森林限界地域における景観動態の 自然地理学的研究

—ノルウェー北部フィンマルク地方の  
オウシュウアカマツ林の更新状況—

梅 本 亨

## I. はじめに

ある地域の均質な地表空間を景観単位と考え、異なる景観単位間の境界ゾーンの空間構造に注目すれば、景観そのものの動態把握が可能となる。景観動態は、安定した環境下で十分な時間が与えられれば、何らかの平衡状態を取ることもあるだろう。しかし、現実には地殻変動や気候変動などの外部条件、さらには景観単位の構成要素（地表面状態、表層物質、小スケールの水循環、動植物、人間活動など）の自律的・非自律的な内部相互作用によって、景観単位は素早く変動している。

景観動態を総体的に捉える自然地理学的方法論は「地生態学的アプローチ」と呼ばれる。この方法論は総体的な理解を目指してはいるが、景観単位の変動をもっとも強く支配している要因に注目して、ある程度は分析的な手法も採用している。さまざまな環境要因のなかで、多くの変数を少数に集約して捉えやすいのは気候である。極論すれば、気温と降水量の2変数に集約することさえ可能である。また、大気の状態量としてあまねく定義・測定可能なのが気温であることを重視すれば、もっとも代表性の高い環境情報は温度ということになる。さらに、大気の熱源は原則として太陽のみであり、その伝達量はほぼ完璧な球体である地球表面の緯度によって決定される。したがって、温度環境に着目すれば、広域の地表空間の自然条件を景観レベルで具現しているのは植生（特に森林）であるということになる。

一般に、気候条件による森林の分布限界のことを森林限界と呼ぶ。当然のことながら、水分が不足する乾燥限界と、温度が低いことによる寒冷限界がある。より広範な物理的環境を反映することに意義を認めて、通常は森林限界といえば後者を意味する。ここではまず森林限界とはいかなる景観を指すのかを明確にしておく必要がある。写真1は、スカンジナビア半島北部の典型的な森林限界を示し

たものである。Aは、山の中腹で森林が徐々にまばらとなって、ついにはその分布が途切れている状態を麓から見たものである。Bは、山の中腹に登って見たもので、画面中央左の黒っぽい部分が麓から連続する森の分布限界である。これらは、山地斜面の上方で温度が低下するために樹木が生長できずに森林の分布が途切れることから《上方森林限界》と呼ばれている。日本でも富士山をはじめとして各所で観察できる。

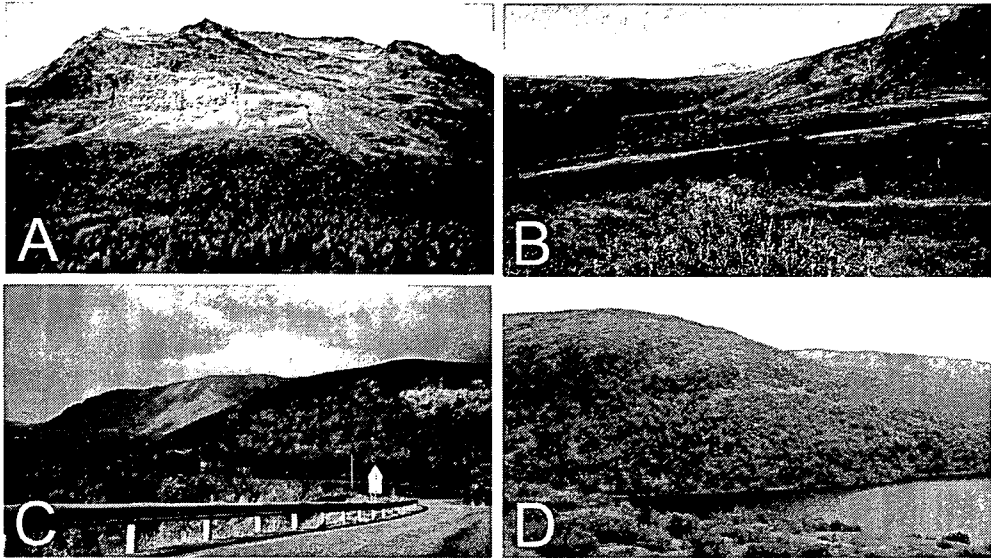


写真1 スカンジナビア半島北部の2種類の森林限界（筆者撮影）

- A) 上方森林限界：Skibotn 付近 ( $69^{\circ} 25' \text{ N}$ ,  $20^{\circ} 15' \text{ E}$ ), (1998年9月)
- B) 上方森林限界：Tromsø 付近 ( $69^{\circ} 35' \text{ N}$ ,  $19^{\circ} 10' \text{ E}$ ), (1998年7月)
- C) 北方森林限界：Havøysund 付近 ( $70^{\circ} 55' \text{ N}$ ,  $24^{\circ} 40' \text{ E}$ ), (1998年9月)
- D) 北方森林限界：Kjøllefjord 付近 ( $70^{\circ} 55' \text{ N}$ ,  $27^{\circ} 25' \text{ E}$ ), (2007年7月)

いっぽう、写真Cでは、道路のカーブの向こうに見える斜面やガードレールの左下の斜面に、黄葉しているため明るく見えるパッチ状の林が認められる。この場所はおよそ北緯71度で、短い夏のわずかな期間しか樹木の生長を支える温度にはならない環境である。したがって、日当たりが良くかつ海からの冷たい風が当たらない斜面にのみパッチ状の林が成立している。また、写真Dは観光案内的に「ノルウェー最北の森」と言われている場所で、Cと同様に海からの冷涼な風を受けない立地条件となっている。しかし、実は森林ではなくヤナギ類のまばらな低木群落である。このように、緯度が高いために低温で森林が途切れる水平的な分布限界を《北方森林限界》と呼ぶ。

本研究では、スカンジナビア半島北部バレンツ海沿岸地域の海洋性気候下にある北方森林限界付近において、一般には気候の温暖化と認識されることが多い小氷期以降の特に最近百年間の気候変動にともなう森林植生の景観変動を、主としてコドラート調査による森林構成樹木種のマッピング（毎木調査）によって把握することを試みる。具体的には、以下の2つのことを明らかにすることが目的である。

- 1) 森林景観の動態を示唆するような上方森林限界の高度的位置および林分構造の変化が、山地斜面（氷床からの溢流水河による水食谷斜面）で認定可能か？
- 2) 北方森林限界地帯内部の低標高の平坦地に展開するパッチ状樹林の縁辺部において、パッチの拡大または縮小を示唆する林分構造の変化が認識可能か？

## Ⅱ. ノルウェー北部フィンマルク地方における森林限界の位置づけ

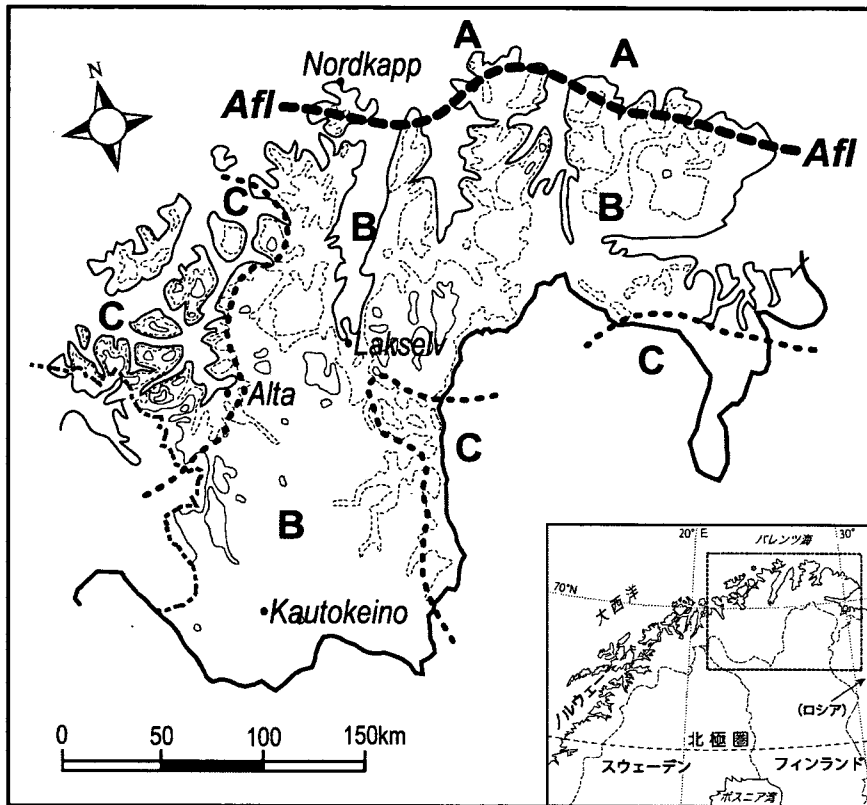


図1 フィンマルク地方の植生タイプ

植生タイプ：A(半ツンドラ植生)，B(北部亜寒帯植生)，C(南部亜寒帯植生)。植生タイプ境界線（点線）および気候の北方森林限界（太い点線：Afl）は Vorren (1993), Moe *et al.* (1996) および Heikkinen (2005) によるものを簡略化して記入した。等高線の間隔は300m：破線300m，実線600，900m。なお、標高1200m以上の領域はほとんど無いため1200m等高線は省略。主図南部の太線はノルウェー国境，西部の太破線はフィンマルク地方とトロムス地方の行政界。

### 1. 植生分布

フィンマルク地方では、「上方」と「北方」の両森林限界が接近している。上述のように両者の景観的な外見は異なるが、現実にはこの地方で上方森林限界を呈する森林自体が北方森林限界ゾーンの森林パッチ的な姿をしており、フィールドで必ずしも明確に区別できるわけではない。図1にフィン

マルク地方の植生タイプを、主として海岸沿いの低地に分布する植生を基準に示した。図の北縁部をほぼ東西に走る Af (Arctic forest limit) は、気候的北方森林限界を表している。これは、海拔標高 0 m での気象学的な「地上気温」が、森林の成立を許さないという低温限界である。Af 線の北側 (A タイプ) は半ツンドラ植生で、いわゆるツンドラとタイガの移行帯である。裸地、ヒース (heath) が主体でヤナギ類の藪が散見されるという景観になる。領域の大半を占める B タイプは、北部亜寒帯植生で、低地や内陸部の谷にカンバ類の疎林が展開する。また、内陸部には樹高の低いマツ林も成立する。C タイプは南部亜寒帯植生で、森林の構成樹種が増え、マツ林にハンノキ類、ヤナギ類の高木が混じるようになる (Vorren 1993)。

北方森林限界付近の高木は、夏季の多日照環境のもとに樹木としての生長を維持している。夏季には太陽が沈まないため、晴天ならばたとえ北向き斜面であっても十分な日照量を期待できる。しかし、森林限界より北方では、夏季の冷涼さによる雪氷の残存、地下の永久凍土が不透水層となって生じる季節的沼沢化による水分過多、活動層 (永久凍土層の表層で夏季に融解する部分) の薄さによる根茎展開空間の欠如などにより、樹木種が高木となることが阻害されている。また、海岸付近の顕著な海洋性気候の夏季は、雨天や曇天が多く、温度不足・日照不足をもたらすため、樹木は必要な生長期間が得られず森林が成立していないものと思われる。

最北の高木種は一般に落葉広葉樹 (カンバ類やヤナギ類) であり、その南側 (斜面では低い谷側) には常緑のマツ属が分布する。この分布差は、おそらく温度環境の微妙な差に対応しており、広葉樹が葉からの蒸散の有無にかかわらず水分移動できる生理的能力を持つものに対し、針葉樹は蒸散による負圧によってはじめて水分が樹幹を上昇するため、地上数メートルの高さの葉の蒸散活動が、樹幹に乾燥害を起こすからであるとも考えられる。

## 2. 気候学的背景

スカンジナビア半島北部は、偏西風の強風帯から北側にはずれているため、強風による山頂現象的な高山景観は原則として存在しない。地面を這うかたちの「這い松」に相当する風衝低木群落も無く、高木限界付近の林床植生には、いわゆるヒースか矮生のカンバ類やベリー類が卓越することが多い。この、森林限界付近の林床植生の中緯度高山帯との違いは、温度環境の変化に対する植生景観の変化に大きな差をもたらすことになる。植生の植物体の上面をキャノピー (canopy) というが、北極域ではキャノピーと土壤表面までの距離 (キャノピー層の厚さ) が薄い。よって、発芽した樹木種の実生は、温度がそもそも低いということを度外視すれば、ハイマツなどが厚い層を作る中緯度の森林限界付近よりも好適な日照条件が得られるため、より高い定着率をもつことが予想される。

筆者が想定している気温変動にともなう森林限界の変化は、19世紀末から1940年代あたりまでの、「小氷期からの回復」とも表現できる気温上昇によって森林限界が上昇または北上し、1960年代から1970年代の低温期で固定され、その後の短期的な (現在までの) 昇温によって、それまでは生き残れなかった森林限界付近の実生・稚樹が若干の生長を見せて、ミクロな景観に空間的ギャップ (樹木のジェネレーションギャップ) が生じているのではないかと、いうものである。このような植物群落

の空間構造が成立するのに必要な温度条件は必ずしも明らかではないが、樹木種が根系から水分を吸い上げ、葉で光合成して植物体の質量を増加させるには、根系部の地温が0℃以上、地上部の気温が5℃程度（この気温は樹木種により異なる）以上である必要がある。そして樹木種がこの条件を「感知」するためには、5日間程度の条件継続が必要であるとされている。つまり生長期間として植物に影響を及ぼす気温条件は、春季に約5日間の「高温状態継続」が出てから、秋季に5日間の「低温状態継続」が出るまでの長さであるということになる。この条件を、本研究の調査地域よりは南方であるが類似した気候環境にあるスウェーデン科学アカデミーのアビスコ（Abisko）研究所付近で調査した研究がある。これによると、上記の「高温」の閾値を0℃に設定するすると過去約100年間で、1年間当たりの生長期間は、1910年代の年間約150日から1990年代の年間約170日へと顕著な増加傾向（すなわち温暖化）を示している。ところが閾値を順次上げていき、5℃にすると増加傾向はほとんど認められなくなってしまう（Holmgren and Tjüs 1996）。

このような統計的な研究の他に、植生の現況を衛星リモートセンシングデータの解析によって把握し、地上の気温観測データでその季節変化を評価するというアプローチもある。1980年代からしか衛星データが得られないという制約があるものの、スカンジナビア半島北部では、1982～1999年の期間で、衛星データの植生指標に関しては「海岸部でやや（数日間程度）春の開始が早まり」、かつ「秋の訪れが1～2週間遅く」になっている（Høgda *et al.* 2007）。いずれにせよこれらの結果は、近年の「温暖化」指向の根拠となっている気候モデル（シミュレーションプログラム）が出力した仮想気候情報はもちろんのこと、地上高約2 mでの気温観測データによる現実の昇温であっても、短絡的に植生分布の変化に読み替えるのが危険であることを示している。

以上のように、基本的には太陽活動に起因する小氷期終焉後の全般的かつ大きな温暖化があると考えられるものの、最近数十年間の明瞭な地上気温の上昇は、少なくともこの地域の観測所データからは見えてこない。特に1940年代の顕著な温暖期をニュートラルに評価すれば、1990年あたりまでの数十年のノルウェー北部地域の気温は「寒冷化」したと言っても良い（Førland *et al.* 1992）。この状況は、さらに広域の気温変動を、確実な情報源である地上気象観測所の膨大なデータから評価した研究でも変わらないし（Przybylak 2005）、グローバルな観点から気候システムほぼ全体の多面的な変動の評価でも基本的に同じである（Serreze and Barry 2005）。よって本研究は、政治経済問題あるいは社会問題であるいわゆる「地球温暖化」とは何の関係も無いことをお断りしておく。

ただし1980年代中頃には、何らかの気候のレジーム変化が起きているようである。これは「温暖化モードにジャンプした」とも、「エルニーニョ現象頻発モードへ推移した」とも、「北極振動顕著モードへ推移した」ともいえる、さまざまな解釈が可能なイベントである。これにおそらく同調している「山岳氷河の縮小」、「北極海の水水面積の減少」、「冬季気温の上昇にともなう積雪表層の氷盤化によるトナカイ摂食行動の阻害」等々の「温暖化」の影響が《報告されている》ため、北極域は全体的に温暖化しつつあり、その影響は広範囲に及んでいるとの印象が強くなっている。いずれの《報告》もオリジナルの文脈が省略されるか、新たなものが加味されて単純に報道されることが多いため学術的な評価は難しい。例えば、北極海の水水面積の信頼できるリモートセンシングデータの登場は1980



年代初期であるため長期間の評価ができないし、トナカイの餌不足については「昔はそんなことはなかった」ということを確認するための具体的データが欠如している。

### 3. 地理学的背景

森林限界の位置は、家畜による食害（草地としての放牧地確保のための森林伐採を含む）や用材採取（薪炭材含む）など人為的干渉の長い歴史によって、気候的な森林限界よりも大きく「後退」していることが分かっている（たとえば Körner 1999, Holtmeier 2003, Thomas and Packham 2007などに詳しい）。これは、グレイジングが完新世の気候の温暖化とは逆モードで森林分布に影響してきたことを意味する。

スカンジナビア半島北部では、トナカイやヒツジ／ヤギの放牧は、この地域の先進国化にともなって低調となり、その影響が気候の温暖化モードに重なって景観に現れている可能性もある。フィンマルク地方で放牧されているトナカイの頭数は、1970年代の約10万頭から1980年代末の約20万頭をピークに、1990年代以降は約15万頭程度になっているものと思われる（Skonhøft 1998）。この間に、フィンマルク高原（森林限界の上の高原地域）では過放牧状態となり、放牧区の境界に設置された長大な柵を境に、両側の植被率が大きく異なるのが各地で観察できる。この地域の先住民族であるサーミ人の主要な放牧家畜であるトナカイは、カンバ類の葉を食害するがオウシュウアカマツは採食しない。またエルク（*Alces alces*）はアカマツを採食するが個体数の少ない野生動物である。よって、カンバ類に注目する場合には、グレイジングの影響を最大限に考慮する必要があるし、アカマツに注目する場合には、グレイジング以外の影響を分離して認識できる可能性がある。

## Ⅲ. ラクセルブ東方海岸のコドラート調査

本研究では、フィンマルク地方のほぼ全域から事前の地形図精査により26地点の主として上方森林限界の観察候補地を選定し、全地点を実際に目視観察し、理想的な5地点を選定して森林限界の群落構造の測量による記載を行った。その結果の分析はかなり膨大なデータ量になるため別稿にゆずるが、比較のため上記5地点の他に、ラクセルブ（Lakselv）の近くの山地斜面を離れた平坦地で露岩が散在する土壌の薄い自然林を選定してコドラート（quadrat：方形区）調査を実施した。積雪の重力によるグライドの影響や、斜面方位による日射条件の影響、さらにはトナカイの放牧によるグレイジング圧の影響など、山地斜面で顕著な諸影響が小さい立地条件を想定したものである。

フィンマルク地方の行政的な中心はアルタ（Alta）の町であるが、地方全体の位置的な中心に近く、原生林を含む自然林が多く、かつフィンマルク高原にも近接しているのがラクセルブの町である。町といっても若干の商工業施設と住宅地が散在する国道のジャンクションといった風景である。その周囲には、厚い堆積物の上に成立した針葉樹林（植林も含む）や広葉樹林（おそらく伐採後の二次林と思われる）などが展開するが、海岸沿いの段丘化した露岩地帯には、オウシュウアカマツやオウシュウシラカバの疎林と林床のヒースを特徴とするフィンマルク高原の上方森林限界付近に良く似

た植生景観が展開する。

### 1. 調査地の地形的特徴

この場所はスカンジナビア氷床から北極海（バレンツ海）に溢流する氷河が侵食した大規模な氷食谷（フィヨルド）の南東端にある。谷の中央部は厚い氷成堆積物に覆われ、部分的に段丘化している。周囲の山地（フィンマルク高原）の標高は500m内外で浅い谷が卓越するが、図2の北東部に見られるように、氷床後退期の融水水の侵食により峡谷となっている部分もある。

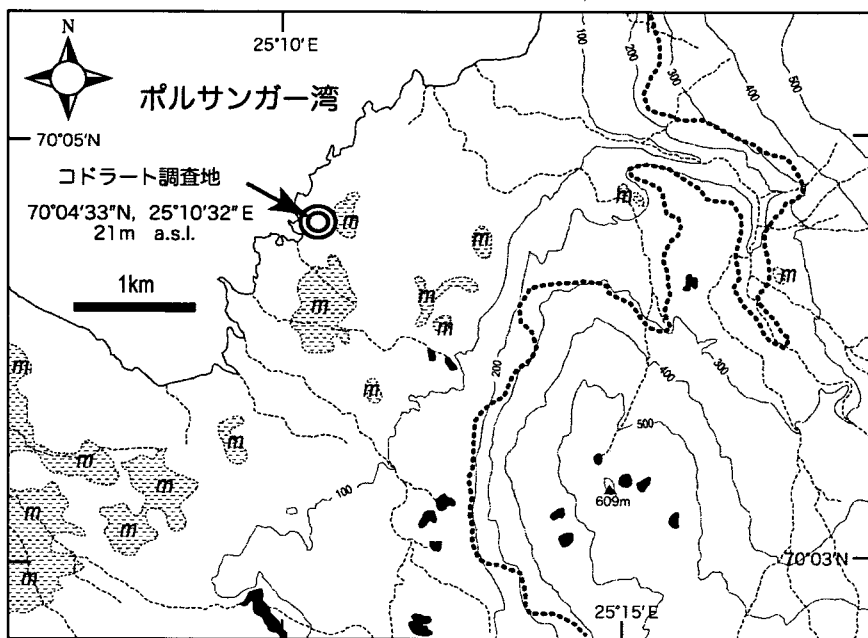


図2 コドラート調査地点と周囲の地形

ポルサンガー湾（フィヨルド）の最南部にあるラクセルブの町の東方の海岸沿いの台地状平坦地で、明るい森林またはウッドランドと露岩地および湿地が混在する。太い点線は上方森林限界である。等高線の間隔は100m、破線は水系（河川流路および湿地の縁）、湿地には「m」を付した、島状の黒色部は湖沼。

フィンマルク地方には全般に厚い未固結の氷成堆積物が分布するが、この調査地付近は例外的に基盤岩が露出する領域となっている（Sollid *et al.* 1973）。また、この地域の海岸沿いには1段のステップ状を呈するいわゆるストランドフラット（strandflat）が発達することが多い（Klemsdal 1982）。図2のコドラート設置場所付近の岩棚には明瞭な擦痕や条痕のある鯨背岩が多数分布することから、ストランドフラットのような削剥された面ではなく、かなり急激に離水した地表面であると思われる。この推察を支持する地形として、この付近の海岸で礫質の堆積物がある場所では、現在の汀線からほぼ連続する階段状の旧汀線が明瞭に認められ、図2東部の山地下部に達しており、その最上部の標高は少なくとも80mはある。

## 2. 調査地の植生

調査地近傍の山地斜面はカンバ類を主体とする森林であり、その上方森林限界の標高は図2に示したようにおよそ250mである。フィンマルク地方の南西に隣接するトロムス地方においては、西向き斜面の平均的な森林限界の標高は450m程度なので（Umemoto 2000）、緯度の割には低い位置にとどまっている。

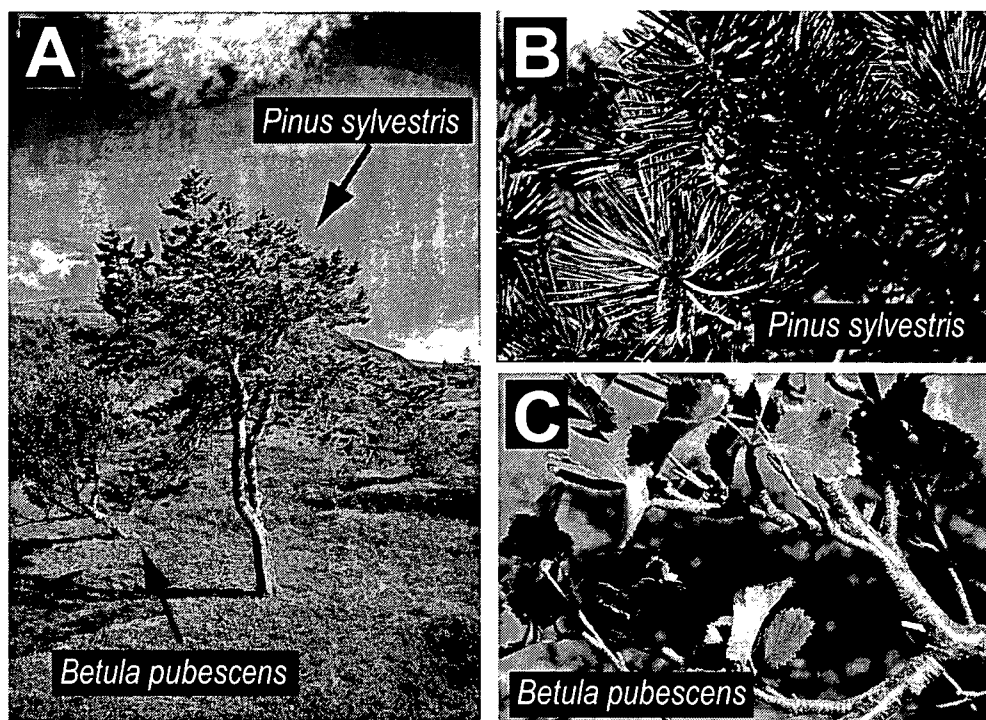


写真2 コドラート付近の代表的樹木（2007年7月 筆者撮影）

A：コドラート付近から南西を望む。オウシュウアカマツ（樹高約5m）とオウシュウシラカバ（樹高約3m）。林床はガンコウランなどのツツジ科の矮生木本や各種ベリー類、コケ、地衣類、若干のスゲ類などに覆われている。B：オウシュウアカマツ，C：オウシュウシラカバ（この写真のみコドラート設置地点ではなくアルタ付近の山地で撮影）

この森林を成す樹木はおおむねオウシュウシラカバ（*Betula pubescens*）とオウシュウアカマツ（*Pinus sylvestris*）であるが、分布密度は低く、一般にはウッドランド（日本語には対応する正式の学術用語は無い）と呼ばれる植生景観である。北欧を中心に、樹木間の距離が30m以内のウッドランドであれば森林とする定義（Rønning 1985など）が一般的なので、写真2のAに示すような植生景観は「森林」と見なされる。また、数km南方には孤立したかなり広いオウシュウアカマツ林がある（Oksanen and Virtanen 1995）。

オウシュウシラカバの分類はかなり複雑で、亜種レベルでの同定は植物学者でないと困難である。筆者はこの調査サイトのカンバは亜種レベルではヤマケカンバ（*B. p. ssp. czerepanovii*）であると

考えている。この亜種は特に英名を mountain birch といって、グリーンランドの南端からアイスランドを経て、スカンジナビア半島の大半をその分布域とする、最大樹高が10mにも達しないものである。もう一つの、はるかに分布範囲が広い亜種は *B. p. ssp. pubescens* であり、成木では10~20mの大木となる。このヤマケカンバは環境によって柔軟にさまざまな樹形を取る。生長条件の良いところではシルエットが円錐形となるが、条件が悪く生長が遅い場所では、円形、平たいまとまり、そしてついには地面を這う藪状にまでなる。写真2 Aの左に写っているカンバは、「平たいまとまり」であり、生長がほぼ停滞している状態の樹形である (Aradottir *et al.* 2001)。

### 3. 1 m以上の高さをもつ樹木種の分布

図3にコドラートの測量結果（微地形の概略と樹木種の位置）を示した。測量方法は以下のとおりである。およそ30m以上にわたって周囲が見渡せる露岩の上に基準点を決め、GPSで位置を確認した。さらに1:50000スケールの地形図上での位置を標定して20m間隔の等高線およびアナログ高度計により、海拔標高を21mと判断した。基準点上に三脚を設置し、牛方商会製のパーテックスコンパス（機械式小型トランシットと Haglöf 社製の VERTEX III 超音波距離計を組み合わせたもの）で四隅の位置を定め、水平距離で60×60mのコドラートを設置した。測定したのは樹木位置および地形測量地点の方位角、斜距離、伏角（仰角）である。磁針の偏角は、日本の国土地理院に相当するノルウェー政府機関である Statens kartverk の計算プログラムを使用して補正した。ただし、この超音波距離計は昆虫の飛翔音（羽音）をノイズとして感知してしまうため、ブユが多量に飛んでいるときはエラーが出て測定不能となる。そのような場合はガラス繊維製の測量用50m巻尺およびスチール製の5mコンベックスメジャーを併用した。植物については、高さが1m以上の全ての樹木種の個体高、胸高直径（測定できない低い個体の場合は根元の直径）を、原則として5mコンベックスメジャーと輪尺またはノギスで測定した。また、図3の右側にある20×60mの長方形内では、オウシュウアカマツの高さ1m未満の稚樹も計測した。

図は左下の方向が真北になる。地形は、水平距離約60mで数mの高低があるが、幅20~30mで北東-南西方向に伸びる尾根状の細長い高まりが並ぶという特徴をもつ。その尾根は露岩となっており、表面には多数の擦痕や条痕が認められ、方向が尾根の走向とほぼ一致する。その表面形は、南から北を眺めた場合は非常に滑らかだが、逆の方向からは岩盤の末端の破断面が目立つため、典型的な鯨背岩群であると判断できる。

樹木種の分布は、滑らかな露岩の上よりはヒースに覆われた凹地部や岩盤の亀裂部などに多い、という程度で、特に注目すべき特徴はない。ただ、図3で谷のように表現される凹地部は、融雪期には湛水して池のようになると思われ、その最低部分には樹木種は定着していないようである。北欧の研究者による樹木間の距離が30m未満の樹木群が森林であるという定義に従えば、このコドラート内は、なんとか森林と認定される程度の密度であることになる。なお、樹木種の個体高が3m以上の場合に、「樹木（高木）」と認定され、高木の集団を森林と定義することになっている。

このコドラートは、この海岸沿いの露岩地帯の代表的な景観を示す部分に設置したもので、最大規

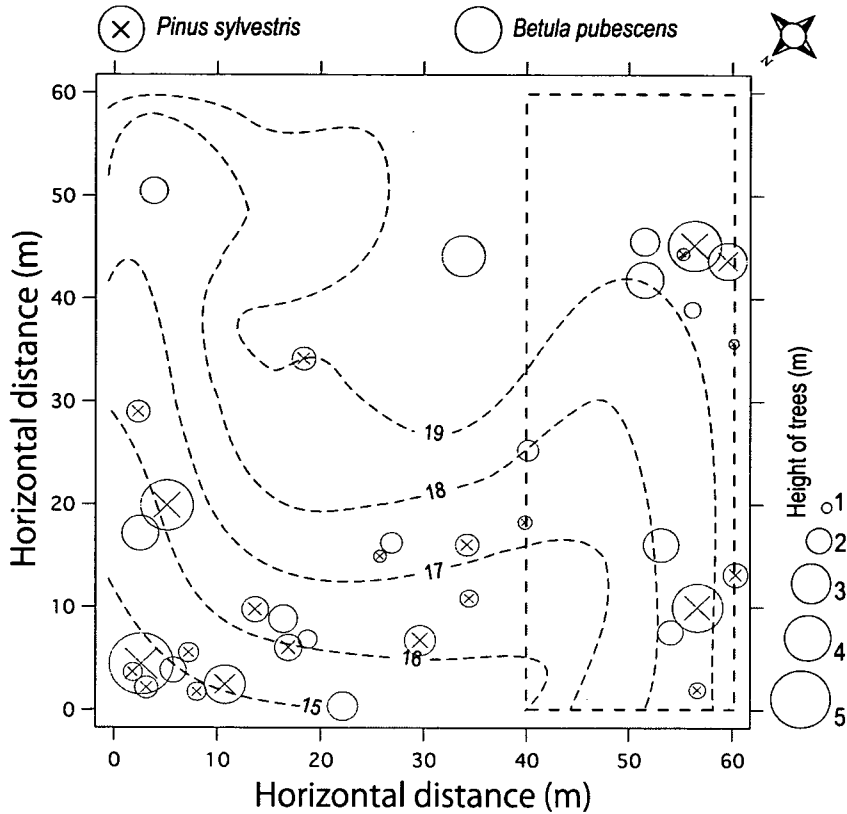


図3 ラクセル付近の海岸台地上のウッドランドにおける樹木分布 (2007年7月測量)  
 コドラートの大きさは60×60m(水平距離)、個体高1m以上の樹木種を全て記載した。  
 コドラート内の最大樹高は5.3mで、樹高を丸の直径で表現してある。等高線は1m間隔  
 で、現地での簡易水準測量による。コドラートの中心位置は、70°04'33" N, 25°10'32" E  
 (図2参照)。測量器を設置した露岩上の標高は約21m。なお、この露岩自体は図には表  
 現していない。図の右側の破線の長方形内では、オウシュウアカマツの稚樹も計測した  
 (この図には記載していない)。

模の高木がオウシュウアカマツで樹高約5m、胸高直径約10cm程度である。樹齢は想定できないが、100年程度ではないだろうか。ノルウェー北部における年輪解析の研究では、オウシュウアカマツの樹齢は500年を超えるものがあり、300年程度なら多数の試料が得られている (Kirchhefer 2005)。このコドラート内および周辺には、そのような老木 (大木となり、胸高直径は1m近くに達する) は無いが、図の中央やや下部の標高17m付近に個体高2mのマツがある。これは北欧の定義でも樹木 (高木) とは呼べないが、かなりの老木で露岩の亀裂付近に横臥状態で複雑な形状をとっており、根元では直径20cmだが、延長上には50cm程度の幅を持つ部分さえある。樹齢は100年を確実に上回るものと思われる。

図3の右側1/3に設定した (破線) の20×60mの長方形においては、稚樹まで含めたオウシュウアカマツの全ての株を計測した。ただし、個体高が10cm未満の実生については見落としが多くなるこ

とを想定して除外した。全個体数は43本あり、1 m以上の「成木」は図に記載した7本でこれを除く36本のうち、50cm 以上のものはわずか6本であった。つまり、高さ50cm から1 m程度の個体が少ない傾向にある。標本数が少なすぎて統計的な確実性は望むべくもないが、積雪深および更新時期の天候特性による生存率の不連続が想定できる。

#### IV. 考察

本論文で説明したラクセルプ付近の海岸のオウシュウアカマツとオウシュウシラカバのウッドランド状の混交林では、樹高が最大で5 m程度のマツとカンバが森林景観を構成する主要素となっていた。その立地条件は標高の割には厳しく、森林の樹木密度としてはフィンマルク高原の上方森林限界付近に近い状態となっている。林床には両種の実生や稚樹がたくさん確認できるものの、特にマツに関して「樹高」別の個体数をみると、高木との間にギャップがあるような印象を強く受ける。本稿では紹介していないが、フィンマルク高原の上方森林限界のコドラート調査でも類似の傾向を確認している。すなわち老齢木に見える成木の分布限界が森林限界にほぼ一致し、そこから上方には若い印象の成木がほとんど無く、順調に更新しているようには見えないのである。

百年スケールの気候変動を考えると、スカンジナビア半島北部では、18世紀頃は比較的温暖な夏季を経験しているが、19世紀は過去約千年間でももっとも冷涼な夏季であったらしい。一般には小氷期で夏季も冷涼であるとされる18世紀には、この地域では森林限界が上昇した可能性がある。その後、19世紀の冷涼な時期を迎えても、森林限界付近で成木となった樹木は、その位置で十分に存続できる。ただし、実生の発芽率や稚樹の生存率は低く、更新はうまくいかないであろう。この段階で、老齢樹による高木限界が明瞭化し、その下部にやはり老齢木を主体とする森林限界が認定されることになるだろう。20世紀になると1940年代の顕著な温暖期にむかって気温が上昇し、対流活動が盛んになっておそらくは積雪量がやや増加することが考えられる。この時期に発芽し生き延びた個体が、現在の森林限界付近の若木として確認できるはずである。その後、再び相対的に寒冷な時期を迎えるが、この時期はむしろ「温暖な天候が少ない」時期であり、ある程度生長した個体は存続できるが、実生更新には不適な期間であった可能性がある。

いっぽうオウシュウシラカバについては、より複雑なプロセスの進行を考えざるをえない。1980年代末に一つのピークを迎えたトナカイ放牧によるグレイジング圧が、カンバの実生や幼木の生長を阻止している様子がフィールドで頻繁に確認できるからである。個体高が50cm 程度までのカンバの幼樹の大半が、その葉のほとんどを欠損している。周辺にはトナカイの糞や毛が見つかるし、残存している葉は完全であることが多いので、ときどき大発生するシャクガの幼虫に食害されたものとは思えない。過去数十年にわたり、トナカイ放牧が過放牧状態であった可能性は高く、ここにも更新のギャップが想定されることになる。1980年代後半以降は温暖な期間に入っているが、この時期に実生更新が進行しても、トナカイによる高いグレイジング圧によって、森林限界が上昇するようなことにはならないであろう。また、上でも触れたシャクガの大発生によるカンバ林の衰退には著しいもの

があり、2006年と2007年の2回の夏季の観察では、フィンマルク高原のカンバ林の標高が高い領域の多くで、ほとんど葉が無い状態となっていた。

気温変動との関わりでは、カンバの上方森林限界がマツのそれより200mほど高いことを考慮すると、雪崩による被害や土壌の凍結による水分不足などが寒冷期に大きな意味をもつことになる。加えて温暖な時期が増えると昆虫の活動も活発化する可能性がある。

以上を総合すると、スカンジナビア半島北部では、最近数百年間の気候変動（特に気温変動）をもっとも強く反映してオウシュウアカマツの森林がクルムホルツのゾーンを欠く形でギャップ状の分布限界を形成する可能性を指摘できる。また、オウシュウシラカバ林の森林限界では、マツの場合とはほぼ同じ気候変動との関わりの他に、最近の昇温による生長条件の変化をキャンセルするモードで働くトナカイ放牧によるグレイジング圧の増加と、シャクガ幼虫の食害が、同じくギャップ状の森林限界を形成する可能性がある。北極圏に関しては、最近の気候変動を「地球温暖化」と同一のものと見なして、森林限界高度の上昇や、衰退状態の森林の回復に安易に結びつけるような研究論文もたくさん現れている。読んでみると、グレイジングの影響が弱い場所を選んだように書いてあるが、その具体的な根拠を明示したものは無いようである。本研究のフィールドワークで得たデータの多くはまだ未発表である。気候変動の内容を明確に評価できる気候学・気象学的な解析を併せて行い、別稿で改めて議論を展開したい。

**謝辞：**現地調査にあたっては、ヨーロッパで個別に行動中であった地形研究者の小山拓志さん（明治大学大学院）、ならびに植生研究者の飯塚和幸さん（明治大学附属中野八王子中・高校教諭／調査当時は明治大学大学院）は、日程の都合をつけて現地で合流してくれた。小型レンタカーでのすし詰め長距離移動や北極圏名物の蚊・ブユの猛攻にもめげず、快く協力してくれたことに深く感謝します。また、特別研究に専念できるよう、本来なら私がやるべき職務を分担してくださった明治大学文学部地理学教室の各スタッフ、ならびに多忙にもかかわらず担当講義の代講をしていただいた日本大学商学部の山添 譲先生にも厚くお礼申し上げます。

### <文献>

- Aradottir, A. L., Thorsteinsson, I. and Sigurdsson, S. (2001) Distribution and characteristics of birch woodlands in north Iceland. In *Nordic Mountain Birch Ecosystems*. Edited by Wielgolaski, F. E., UNESCO, 390pp., pp.51-61.
- Førland, E. J., Hanssen-Bauer, I. and Nordli, P. Ø. (1992) New Norwegian climate normals -- but has the climate changed? *Norsk Geografisk Tidsskrift*, 46, pp.83-94.
- Heikkinen, O. (2005) Boreal Forests and Northern and Upper Timberlines. In *The Physical Geography of Fennoscandia*. Edited by Seppälä, M., Oxford University Press, pp.185-200.
- Holmgren, B. and Tjus, M. (1996) Summer air temperatures and tree line dynamics at Abisko. *Ecological Bulletins*, 45, pp.159-169.
- Holtmeier, F.-K. (2003) *Mountain Timberlines: Ecology, Patchiness, and Dynamics*. Kluwer Academic Publishers. 369pp., pp.236-256.

- Høgda, K. A., Karlsen, S. R. and Tømmervik, H. (2007) Changes in growing season in Fennoscandia 1982-1999. In *Arctic Alpine Ecosystems and People in a Changing Environment*. Edited by Ørbæk, J. B., Kallenborn, R., Tombre, I., Hegseth, E. N., Falk-Petersen, S. and Hoel, A. H., Springer-Verlag, 433pp., pp.71-84.
- Kirchhefer, A. J. (2005) A discontinuous tree-ring record AD 320-1994 from Dividalen, Norway: Inferences on climate and treeline history. In *Mountain Ecosystem: Studies in Treeline Ecology*. Edited by Broll, G. and Keplin, B., Springer-Verlag, 354pp., pp.319-235.
- Klemsdal, T. (1982) Coastal classification and the coast of Norway. *Norsk Geografisk Tidsskrift*, 36, pp.129-152.
- Körner, C. (1999) *Alpine Plant Life: Functional Plant Ecology of High Mountain Ecosystems*. Springer-Verlag, 344pp., pp.291-298.
- Moe, D., Vorren, K.-D., Alm, T., Fimreite, S., Mørkved, B., Nilssen, E., Paus, Aa., Ramfjord, H., Selvik, S. F. and Sørensen, R. (1996) Norway. In *Palaeoecological Events During the Last 15000 Years: Regional Syntheses of Palaeoecological Studies of Lakes and Mires in Europe*. Edited by Berglund, B. E., Birks, H. J. B., Ralska-Jasiewiczowa, M. and Wright, H. E., John Wiley & Sons Ltd., pp.153-213.
- Oksanen, L. and Virtanen, R. (1995) Topographic, altitudinal and regional patterns in continental and suboceanic heath vegetation of northern Fennoscandia. *Acta Botanica Fennica*, 153, pp.1-80.
- Przybylak, R. (2005) *Variability of Air Temperature and Atmospheric Precipitation in the Arctic*. Kluwer Academic Publishers, 330pp.
- Rønning, O. I. (1985) *Vegetasjonslære*. Universitetsforlaget, 119pp., p.55.
- Serreze, M. C. and Barry, R. G. (2005) *The Arctic Climate System*. Cambridge University Press, 385pp., pp.291-334.
- Skonhoft, A. (1998) Bioeconomic Modelling of Saami Reindeer Pastoralism. In *Commons in a Cold Climate: Coastal Fisheries and Reindeer Pastoralism in North Norway: The Co-management Approach*. Edited by Jentoft, S., UNESCO, 353pp., pp.41-59.
- Sollid, J. L., Andersen, S., Hamre, N., Kjeldsen, O., Salvigsen, O., Sturød, S., Tverta, T. and Wilhelmsen, A. (1973) Deglaciation of Finnmark, North Norway. *Norsk Geografisk Tidsskrift*, 27, pp.233-325.
- Thomas, P. A. and Packham, J. R. (2007) *Ecology of Woodlands and Forests: Description, Dynamics and Diversity*. Cambridge University Press, 527pp., pp.117-126, 219-230.
- Umemoto, T. (2000) Map-based elevation of the upper forest limits in Troms, northwestern Norway. *Geographical Reports of Tokyo Metropolitan University*, 35, pp.31-39.
- Vorren, K.-D. (1993) The environment and plant geography of northern Norway. In *Way North: Plant Life*. Edited by Mørkved, B., Nilssen, A. C., Reymert, P. K. and Graff, O., University of Tromsø Museum, pp.8-20.